

Научная статья

УДК 628.16 (282.256.34)

DOI 10.46845/1997-3071-2023-68-24-34

Совершенствование методов квалиметрии природной питьевой воды

Елена Владимировна Верховзина¹, Валентина Александровна Верховзина²,
Ольга Александровна Белых³

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5513-5576>

²Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6439-5879>

³Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия, olga.belykh@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7274-1420>

Аннотация. В рамках научной статьи актуализируется задача определения качества и подлинности воды, поставляемой из природных источников. Рассматривается основа разработки инновационных методов идентификации воды из естественных водоемов на примере оз. Байкал. Приведены органолептические и микробиологические показатели воды из Байкала. Сделан краткий обзор методов определения качества природной воды, из которого следует, что химический состав по ГОСТ не является уникальным свойством воды из природных источников. Рассмотрена редчайшая особенность бактерий образовывать ферменты эндонуклеазы рестрикции (ЭР) – рестриктазы как реакцию на попадание в среду обитания посторонней микрофлоры. Данный метод, широко применяемый в научных исследованиях, практически не реализуется как контроль качества и подлинности воды при ее розливе на продажу. Нами установлено, что в пробах воды, отобранных в районах антропогенного влияния, были выделены штаммы бактерий, обладающих ферментами ЭР, в то время как в чистых фоновых районах (пелагиаль озера, глубоководные осадки) бактерии с ферментами ЭР не обнаруживаются. Таково свойство бактерий – образовывать ферменты ЭР как защиту от аллохтонной (посторонней) микрофлоры. В данной статье обосновывается факт выявления в бактериальных штаммах ферментов ЭР – это свидетельство того, что вода отобрана либо в районах, куда поступает посторонняя микрофлора, либо вода не из природного источника – оз. Байкал. Предложенный метод дает возможность определения качества и подлинности байкальской питьевой воды, а также исключения подделок природной воды на рынке.

Ключевые слова: методы определения качества, питьевая вода, ферменты эндонуклеазы рестрикции (рестриктазы), озеро Байкал, рынок бутилированной воды, антропогенное влияние

Для цитирования: Верховзина Е. В., Верховзина В. А., Белых О. А. Совершенствование методов квалиметрии природной питьевой воды // Известия КГТУ. 2023. № 68. С. 24–34. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-24-34.

Original article

Improving the methods of qualimetry of natural drinking water

Elena V. Verkhozina¹, Valentina A. Verkhozina², Olga A. Belykh³

¹Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia, ORCID 0000-0001-5513-5576

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, ORCID 0000-0002-6439-5879

³Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, olga.belykh@klgtu.ru, ORCID 0000-0001-7274-1420

Abstract. Within the framework of the scientific article, the task of determining the quality and availability of water supplied from natural sources has been foregrounded. The basis for the development of innovative methods for the identification of water from natural waters on the example of Lake Baikal has been considered. Organoleptic and microbiological indicators of water from Lake Baikal are given. A brief overview of methods for determining the quality of natural water is made, from which it follows that determination of the chemical composition according to GOST is not a unique property of water from natural sources. The unique property of bacteria to form restriction endonuclease (ER) enzymes (restrictases) is considered as a reaction to the ingress of extraneous microflora into the environment. This method, widely used in scientific research, is practically not implemented as a control of the quality and availability of water when it is bottled for sale. We found that bacterial strains with ER enzymes were isolated in the samples of water taken in areas of anthropogenic influence. In water samples taken in clean background areas (pelagic lakes, deep-sea sediments), bacteria with the enzyme ER have not been detected. This property of bacteria is to form ER enzymes as protection against allochthonous (extraneous) microflora. This article substantiates the fact that detection of ER enzymes in bacterial strains is evidence that the water has been taken either in areas where the foreign microflora enters, or the water is not from a natural source – Lake Baikal. This method makes it possible to determine the quality and authenticity of Baikal drinking water and to exclude counterfeits of natural water on the market.

Keywords: quality determination methods, drinking water, restriction endonuclease enzymes (restrictases), Lake Baikal, bottled water market, anthropogenic impact

For citation: Verkhozina E. V., Verkhozina V. A., Belykh O. A. Improving the methods of qualimetry of natural drinking water. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; (68): 24–34. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2023-68-24-34.

ВВЕДЕНИЕ

В природных источниках сосредоточено огромное количество пресной воды, одним из важных ее резервуаров является оз. Байкал. Ежегодно через глубинные скважины озера российский производитель байкальской воды "Байкалси" поставляет на международный рынок продукт премиум-сегмента. Компания производит бренды воды из артезианских источников: природная вода "Жемчужина Байкала" (BAIKAL PEARL), лечебно-столовая минеральная вода

(BAIKAL RESERVE), а также "Минеральная вода Иркутская". Ее интересы лежат в области изучения влияния выбросов в пелагиаль озера бытовых и сельскохозяйственных смывов, представляющих угрозу как для региональной и глобальной окружающей среды, так и для жителей региона. С этой целью были получены данные о природе микробиомов озера в районе расположения туристических путей, проходящих через Малое море. Большие количества пресной воды используются также в сельском хозяйстве и почти во всех отраслях промышленности. Проблема обеспечения человечества чистой питьевой водой связана с усиливающимся ростом народонаселения планеты. К тому же, во многих странах существуют такие проблемы, как изношенность водопроводных сетей и загрязнение открытых водоемов. На всемирном форуме (март 2006 г.) по проблемам воды отмечалось, что в будущем более половины человечества будет испытывать нехватку питьевой воды. Потребность в ней станет постоянно возрастать. Возможно, что в ближайшем будущем оз. Байкал будет одним из основных источников чистой пресной питьевой воды. Байкальская вода имеет слабую минерализацию и не содержит токсических веществ. Насыщенность кислородом (12 мг/л) и низкая минерализация придают ей уникальный вкус свежести. Кроме того, такой ее состав очень полезен для оздоровления и очищения организма человека. Как известно, вода – уникальный растворитель любых веществ, попавших в организм, и позволяет очищать его от токсинов. Показатель кислотности байкальской воды (рН) близок к крови человека, поэтому она хорошо усваивается организмом. Существующие и используемые в промышленности методы квалитрии не позволяют решить вопрос подлинности товара. К тому же, немаловажен факт подтверждения санитарно-гигиенической безопасности глубинной питьевой воды Байкала. Проведенные многолетние исследования показали необходимость поиска способов определения подлинности и качества байкальской воды, что имеет большое научно-практическое значение [1–3].

Природная питьевая вода – едва ли не один из самых востребованных товаров. Ее фальсификация – весьма несложный процесс, поэтому идентификация байкальской питьевой воды является важным объектом исследования. Ценообразование подлинной байкальской воды определяется трудоемкостью ее добычи и уникальными природными свойствами: мягкостью и отсутствием каких-либо примесей абиогенного или биогенного происхождения. Качественное распознавание бутилированной воды "начинают с идентификации сведений, указанных на этикетке: название товара, содержание газа, наименование или номер скважины, по которой можно определить ее принадлежность, химический состав"¹. Товароведческая квалитрия бутилированной воды предусматривает оценку вкусовых и визуальных показателей по 25-балльной шкале (не ниже 16 баллов, когда товар признается неудовлетворительного качества). Данные сведения лежат в основе ассортиментной идентификации, определяющей характерные органолептические и физико-химические свойства напитка. Важными органолептическими свойствами байкальской питьевой воды являются ее прозрачность, бесцветность, отсутствие осадка, букет и благородное благоухание. Квалитрия по многим вопросам

¹ Идентификация и фальсификация минеральной воды [Электронный источник]. – URL: https://znaytovar.ru/s/Identifikaciya_i_falsifikaciya10.html (Дата обращения 10.08.2022)

смыкается с различными физико-химическими и биологическими науками и приобретает междисциплинарный характер. Исследование "только одного показателя" "общая минерализация" не является достаточным для установления видовой принадлежности воды, поскольку нет принципиальных отличий по этому показателю у воды минеральной питьевой (столовой) и у столовой воды, не обладающей свойствами минеральной"¹. Таким образом, все эти признаки не могут гарантировать потребителю подлинности получения питьевой воды именно из глубинной байкальской скважины.

Целью данного исследования является определение микробиологическим методом наличия специальных белков рестрикции в штаммах бактерий, изолированных из оз. Байкал, и использование их индикаторных свойств для установления подлинности глубинной воды. Это был следовой индикатор распределения бактериальных сообществ по фотической зоне и их динамики вдоль основных водотоков Байкала для оценки воздействия речных и сточных вод на микробиоту. С этой целью проведены оригинальные эксперименты с применением методов молекулярной биологии, которые позволяют решить вопрос качества и подлинности бутилированной природной питьевой воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили штаммы бактерий, отобранные из экологических ниш оз. Байкал, различающихся по глубине и местонахождению. Пробы воды были взяты в прибрежной зоне озера в районах антропогенного влияния: пос. Листвянка, г. Байкальск и Слюдянка. Схемы отбора проб представлены в работе [4]. В литоральной части озера воду отбирали батометром с разных глубин, донные отложения – специальным пробоотборником.

Использовались способы глубинного посева, донные отложения засевали методом предельных разведений. Питательной средой являлся мясо-пептонный агар. Культивирование бактерий проводили при температуре 22 °С в течение 48 ч. Выросшие колонии расчищали и отсеивали в пробирки на поверхность питательного агара, инкубировали 20 ч при 25 °С. Для поиска белков рестрикции бактерии пересеивали на новую чашку Петри с питательным агаром и выращивали 10 ч при 22 °С. Штаммы, в которых обнаруживали рестриктазную активность, рассевали штрихом для получения клонов и их последующего исследования. Поиск рестриктаз проводили в культурах после экспозиции, равной 12 ч. Методика определения ферментов рестриктаз описана в работе [5]. При исследовании проб воды на санитарно-микробиологический анализ использовали стандартные методики МУК 4.2.671-97, основанные на разработках СанПиН 2.1.4.559-96 "Питьевая вода", а также "Гигиена окружающей среды" [6, 7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В условиях структурных преобразований в экономике особую актуальность приобретает инновационная деятельность. Все инвестиционные решения

¹ Идентификация и фальсификация минеральной воды [Электронный источник]. – URL: https://znaytovar.ru/s/Identifikaciya_i_falsifikaciya10.html (Дата обращения 10.08.2022)

связаны с долгосрочным развитием какого-либо вида деятельности. Любая инвестиционная поддержка обусловлена социальными, политическими и эколого-экономическими решениями. В современном мире пресная вода становится важнейшим фактором геополитики и в дальнейшем, по-видимому, будет более значимым ресурсом, чем углеводороды, поэтому поиск индикаторов антропогенного влияния при разливе пресной питьевой воды особенно злободневен.

На протяжении многих лет (начиная с 1990 г.) рядом ученых проводятся поисковые работы по выявлению роли микроорганизмов в биогеохимических процессах, влияющих на формирование квалитетических свойств воды Байкала. Нашими исследованиями было установлено, что в бактериальных штаммах, изолированных из проб воды, отобранных в прибрежье (районы антропогенного влияния), выявляются ферменты ЭР. Обнаружены новые штаммы, среди которых встречаются продуценты рестриктаз, не выявленные ранее в природных водоемах [8, 9].

За время экспериментов в ходе скрининга штаммов было проверено более 1500 бактерий из коллекции водных микроорганизмов экосистемы Байкала. В эту коллекцию, которая создавалась в течение 20 лет, входят штаммы бактерий, выделенные из различных экологических ниш водного тела и донных отложений. Изолированные из экосистемы Байкала бактерии оказались не только хорошими индикаторами, но и продуцентами уникальных ферментов с возможностью использования их в биотехнологических исследованиях. Среди них выявлены микроорганизмы, дающие специфическую фрагментацию ДНК (рис.). Определение микроорганизмов, лизаты которых расщепляют ДНК, позволило отнести их к видам *Flavobacterium aquatilis*.

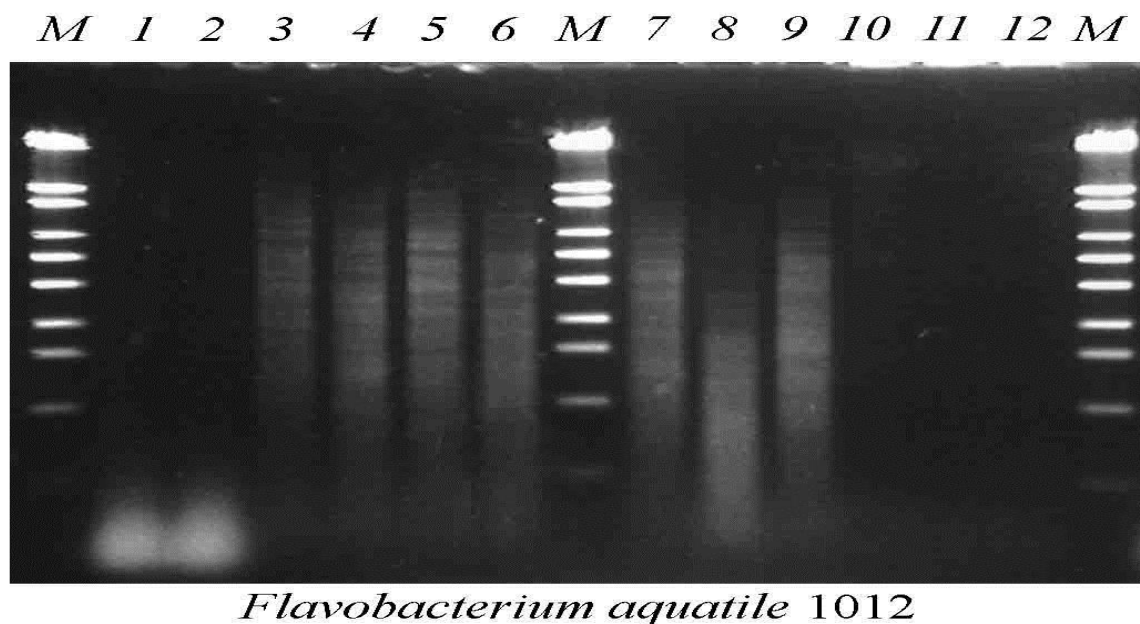


Рис. Эндонуклеаза рестрикции Fau2I из *Flavobacterium aquatile* 1012 узнает сайт 5'-CCGG-3'

Fig. Restriction endonuclease Fau2I from *Flavobacterium aquatile* 1012 recognizes the site 5'-CCGG-3'

Многолетние исследования микробных сообществ крупнейших водоемов Восточной Сибири, в том числе и оз. Байкал, показали, что в условиях усиливающегося антропогенного воздействия на окружающую среду происходят структурные изменения сложившихся биоценозов водных объектов. Повышается количество условно-патогенных грамотрицательных микроорганизмов, увеличивается доля антибиотико-резистентных [4, 10]. Бактериальные штаммы, устойчивые к антибиотикам, были обнаружены даже в пробах, изолированных из байкальских губок [11].

Проведенные нами исследования показали, что в прибрежной части Байкала, находящейся под антропогенным прессингом, наблюдается ухудшение качества воды. Кроме того, с 2001 по 2014 гг. количество бактерий в литорали оз. Байкал возросло в 16 раз, а в истоке р. Ангары (район пос. Листвянка) – до 5 раз. Отмечено, что в прибрежных пробах воды, начиная с 2003 г., выделяется кишечная палочка, не обнаруживаемая там ранее [12]. Байкал также испытывает на себе воздействие множества рек и ручьев, в которые впадают бытовые стоки множества гостиниц и закусочных. Это привносит в его экосистему большое количество как веществ биологической направленности, так и химических элементов [13].

Предложены в работе специальные таксономические исследования в экологических задачах с использованием методов молекулярной биологии. В их основу легла гипотеза, учитывающая то, что прокариоты являются одноклеточными организмами, еще не получившими в процессе эволюции иммунной системы, которая бы выполняла функцию защиты от чужеродных бактерий и вирусов. В этом случае белок рестриктаза – агент, способный уничтожить любую попавшую внутрь клетки постороннюю молекулу ДНК. Рестриктаза разрывает незнакомую ДНК по определенной последовательности, после чего становится не способной к воспроизводству и погибает. Поэтому там, где есть проникновение посторонних вирусов или бактерий, аборигенная микрофлора начинает синтезировать белки рестриктазы для уничтожения посторонних микроорганизмов, не специфичных для водоема. Это особенная степень защиты водных бактерий от интродуцентов [14]. Проведенным статистическим анализом микробного сообщества в литоральной зоне экосистемы Байкала подтверждено, что условием синтеза ферментов рестриктаз (ЭР) служит антропогенное влияние, особенно в виде бытовых стоков [15]. Высокое содержание ЭР выявляется в бактериальных штаммах, выделенных из проб, вблизи антропогенных агентов влияния на прибрежных акваториях с объектами туристической и рекреационной инфраструктуры напротив пос. Листвянка и на Малом море. В пелагиали озера, а также в донных осадках, белки ЭР не установлены, а значит, здесь все еще сохраняется автохтонная микробиота.

В настоящее время из-за нехватки питьевой воды или ее плохого качества в мире развивается крупнотоннажный рынок питьевой воды. Известно, что на Аляске ежегодно экспортируется 18,2 млн м³ воды на завод по розливу бутилированной воды в Китае [16]. В связи с дефицитом пресной воды в Израиле им заключен договор на 20 лет с Турцией. Израиль будет импортировать воду из Турции по цене \$35 млн за 50 млн м³ в год. С помощью специальной установки вода будет отводиться из р. Манавгат на западе Турции [17].

С началом 1990-х в России начинает развиваться рынок бутилированной воды. Его формирование происходит в двух направлениях: добытие воды из скважин (производство) и доставка воды потребителю. Лидерами на российском

рынке стали компании с западным капиталом: "Святой источник", "Чистая вода", "Бон Аква" и "Аква Минерале". Десять лет назад на выставке "Продэкспо" появилась компания "Байкалси" с новыми брендами – "Жемчужина Байкала" и "Байкал Резерв", а через три года она предложила новинку – глубинную воду "Baikal430 0,5 л". Продавать воду "Байкалси" решила через HoReCa – в премиальном сегменте. Основатель бизнеса подчеркивает, что любой из этих продуктов – самый дорогой в своем сегменте среди российских, и Baikal430 – не исключение. Национальный бренд должен присутствовать на полках магазинов от Калининграда до Владивостока, точность исполнения заказов и расчет затрат на логистику имеют здесь огромное значение. В настоящее время компания "Байкалси" является сподвижником дирекции ФГБУ "Заповедное Прибайкалье", которая стоит на страже сохранения флоры и фауны уникального природного объекта. У Байкала в водоохранной 200-метровой зоне расположена только станция добычи глубинной воды [18]. Проблема чистоты оз. Байкал и сохранения высококачественной пресной питьевой воды всегда озадачивала ученых и привлекала общественность. Обсуждение Байкальской концепции о включении нашего уникального озера в Список всемирного наследия, о принятии на себя нашей страной юридической ответственности перед мировым сообществом за сохранение Байкала как достояния общепланетарного масштаба в духе экологического мышления было начато еще в 1989 г. [19]. Позже, в 1996 г., оз. Байкал было занесено в Список всемирного наследия ЮНЕСКО как уникальный мировой объект природы. К сожалению, экологические и экономические интересы часто не совпадают. В последние годы на экосистему озера крайне негативно воздействуют развитие туристической индустрии, судоходство, расширение земель поселений в прибрежной зоне, особенно в летний период. Водный транспорт часто не имеет емкостей для сточных бытовых вод, которые состоят из пищевых отходов, моющих веществ и фекальных стоков. Это приводит к поступлению и развитию в воде Байкала различных антропогенных бактерий и вирусов, что не может не сказаться на ее качестве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе обосновывается свойство бактерий образовывать ферменты ЭР – рестриктазы как защиту от внешних биотических факторов. Если в бактериальных штаммах будут выявлены рассматриваемые ферменты, это станет свидетельствовать о том, что вода отобрана либо в районах, куда поступает посторонняя микрофлора, либо вода не из природного источника – оз. Байкал.

Полученные результаты указывают на нахождение белков ЭР в штаммах бактерий, выделенных из проб воды, в антропогенных районах (прибрежная часть – литораль озера). В чистых фоновых районах (глубинная вода – литораль озера) штаммы микроорганизмов не имеют таких ферментов. Данное свойство микроорганизмов положено в основу разработки инновационных методов определения качества питьевой воды, поставляемой из оз. Байкал. Установление в штаммах микроорганизмов наличия ферментов ЭР будет свидетельствовать о том, что вода отобрана либо в антропогенно загрязненных районах, либо не из Байкала. Таким образом, появится возможность решения проблем разработки диагностики антропогенного влияния на качество воды оз. Байкал на ранних стадиях. Этот метод позволяет определить подлинность байкальской питьевой воды, а

также решить вопрос о подлинности бутилированной питьевой воды из оз. Байкал и исключении ее подделок.

В мировой практике существуют различные методы отбора и доставки питьевой воды до потребителя. Как нам видится, для Байкала более приемлем метод ее розлива. Поскольку на озере существуют несколько фирм по розливу воды, важно создать централизованный контроль ее отбора, качества и подлинности.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. Киреенко А. П., Русецкая Г. Д., Горбунова О. И. Ущерб здоровью населения от загрязнения окружающей среды: оценка и механизмы компенсации // Регион: Экономика и Социология. 2013. № 2(78). С. 294–308.
2. Здоровье среды и здоровье населения: модели, прогноз, ущербы / Н. В. Лазарева [и др.] // Вестник медицинского института "РЕАВИЗ": реабилитация, врач и здоровье. 2020. № 2(44). С. 112–122.
3. Урманова Л. Д., Бекмуратова С. Б. Проблемы качества питьевой воды // Forcipe. 2021. Т. 4. № 1. С. 237–238.
4. Верховина Е. В., Верховина В. А., Белых О. А. Устойчивость бактерий озера Байкал к антибиотикам как показатель антропогенной нагрузки на экосистему // Известия Байкальского государственного университета. 2021. Т. 31. № 2. С. 241–247.
5. Белафин Н. А., Дедков В. С., Дегтярев С. Ч. Метод определения эндонуклеаз рестрикции в колониях // Прикладная биохимия и микробиология. 1988. Т. 24. В. 1. С. 129–132.
6. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы санитарно-микробиологического анализа питьевой воды. Методические указания МУК 4.2.671-92. Минздрав России. Москва, 1997. 35 с.
7. Методические указания 2.1.4.559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Указание государственного комитета санитарно-эпидемиологического надзора РФ. Москва, 1998. 20 с.
8. Выявление штаммов-продуцентов эндонуклеаз рестрикции среди водных микроорганизмов озера Байкал / В. С. Дедков [и др.] // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия биологическая. 1990. № 1. С. 35–37.
9. Гончар Д. А., Дедков В. С., Верховина В. А. Эндонуклеаза рестрикции Sse91 из штамма *Sporosarcina* sp. 9D узнает последовательность 5'-AATT-3' // Молекулярная генетика. 1998. № 1. С. 32–34.
10. Условно-патогенные микроорганизмы в водных экосистемах Восточной Сибири и их роль в оценке качества вод / Е. Д. Савилов [и др.] // Бюллетень СО РАМН. 2008. № 1 (129). С. 47–51.
11. Зименс Е. А. Антибиотикоустойчивость гетеротрофных бактерий, изолированных из различных биотопов литоральной зоны озера Байкал // Известия Байкальского государственного университета. 2019. Т. 29. № 4. С. 513–522.

12. Мониторинговые исследования микробного сообщества литоральной зоны в районе южного Байкала / В. А. Верхозина [и др.] // Вода: химия и экология. 2014. № 3. С. 66–70.
13. Современное состояние водотоков в устьевых областях восточного побережья озера Байкал / И. Б. Воробьева [и др.] // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 86–92.
14. Поиск штаммов-продуцентов новых эндонуклеаз рестрикции / Н. Н. Соколов [и др.] // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 1988. Т. 65. № 9. С. 86–89.
15. Анализ микробного сообщества в литоральной зоне южной части экосистемы озера Байкал / Е. В. Верхозина [и др.] // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 3. С. 99–113.
16. Рогов В. Ю. О направлениях инновационных разработок по идентификации и крупнотоннажному розливу природной байкальской воды // Вестник ИГТУ, 2013. № 13. С. 44–50.
17. Новые тренды мировой торговли и их влияние на развитие международных морских перевозок / О. Н. Бабурина [и др.] // Международная торговля и торговая политика. 2022. Т. 8. № 2 (30). С. 5–19.
18. Компания "Байкалси" в Прибайкалье // Сайт BAIKALSEA Company. URL: <https://baikalsea.com/news/BAIKALSEA-Company-i-FGBU-zapovednoe-pribaikal'e-ob'edinyaut-usiliya-po-sohraneniyu-baikala> (дата обращения: 12.09.2022).
19. Галазий Г. И. Да будет вечен на Земле! // Восточно-Сибирская правда. 1989. № 196. 30 июня.

References

1. Kireenko A. P., Ruseckaya G. D., Gorbunova O. I. Ushcherb zdorov'yu naseleniya ot zagryazneniya okruzhayushchey sredy: otsenka i mekhanizmy kompensatsii [Damage to public health from environmental pollution: assessment and compensation mechanisms]. *Region: Ekonomika i Sotsiologiya*. 2013, no. 2(78), pp. 294–308.
2. Lazareva N. V. [et al.]. Zdorov'e sredy i zdorov'e naseleniya: modeli, prognoz, ushcherby [Environmental health and public health: models, forecast, damages]. *Vestnik meditsinskogo instituta "REAVIZ": reabilitatsiya, vrach i zdorov'e*. 2020, no. 2(44), pp. 112–122.
3. Urmanova L. D., Bekmuratova S. B. Problemy kachestva pit'evoy vody [Drinking water quality issues]. *Forcipe*. 2021, vol. 4, no. 1, pp. 237–238.
4. Verkhovozina E. V., Verkhovozina V. A., Belykh O. A. Ustoychivost' bakteriy ozera Baykal k antibiotikam kak pokazatel' antropogennoy nagruzki na ekosistemu [Resistance of bacteria from Lake Baikal to antibiotics as an indicator of anthropogenic load on the ecosystem]. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2021, vol. 31, no. 2, pp. 241–247.
5. Belavin N. A., Dedkov V. S., Degtyarev S. Ch. Metod opredeleniya endonukleaz restriksii v koloniyakh [Method of determination of restriction endonucleases in colonies]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 1988, no. 24, vol. 1, pp. 129–132.
6. Metody kontrolya. Biologicheskie i mikrobiologicheskie faktory. Metody sanitarno-mikrobiologicheskogo analiza pit'evoy vody [Methods of control. Biological

and microbiological factors. Methods of sanitary and microbiological analysis of drinking water]. Metodicheskie ukazaniya MUK 4.2.671-92. Moscow, Minzdrav Rossii Publ., 1997, 35 p.

7. Metodicheskie ukazaniya 2.1.4.559-96. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva [Hygienic requirements for the water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control]. Ukazanie gosudarstvennogo komiteta sanitarno-epidemiologicheskogo nadzora RF. Moscow, 1998, 20 p.

8. Dedkov V. S. [et al.]. Vyyavlenie shtammov – produtsentov endonukleaz restriksii sredi vodnykh mikroorganizmov ozera Baykal [Identification of endonuclease restriction producing strains among aquatic microorganisms of Lake Baikal]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya AN SSSR, seriya biologicheskaya*. 1990, vol. 1, pp. 35–37.

9. Gonchar D. A., Dedkov V. S., Verkhozina V. A. Endonukleaza restriksii Sse91 iz shtamma *Sporosarcina* sp. 9D uznaet posledovatel'nost' 5'-AATT-3' [Restriction endonuclease Sse91 from the strain *Sporosarcina* sp. 9D recognizes the sequence 5'-AATT-3']. *Molekulyarnaya genetika*. 1998, vol. 1, pp. 32–34.

10. Savilov E. D. [et al.]. Uslovno-patogennyye mikroorganizmy v vodnykh ekosistemakh Vostochnoy Sibiri i ikh rol' v otsenke kachestva vod [Conditionally pathogenic microorganisms in aquatic ecosystems of Eastern Siberia and their role in water quality assessment]. *Byulleten' SO RAMN*. 2008, vol. 1(129), pp. 47–51.

11. Zimens E. A. Antibiotikoustoychivost' geterotrofnykh bakteriy, izolirovannykh iz razlichnykh biotopov litoral'noy zony ozera Baykal [Antibiotic resistance of heterotrophic bacteria isolated from various biotopes of the littoral zone of Lake Baikal]. *Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019, vol. 29, no. 4, pp. 513–522.

12. Verkhozina V. A. [et al.]. Monitoringovye issledovaniya mikrobnogo soobshchestva litoral'noy zony v rayone yuzhnogo Baykala [Monitoring studies of the microbial community of the littoral zone in the area of southern Baikal]. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2014, vol. 3, pp. 66–70.

13. Vorob'eva I. B. [et al.]. Sovremennoe sostoyanie vodotokov v ust'evykh oblastyakh vostochnogo poberezh'ya ozera Baykal [The current state of watercourses in the estuaries of the eastern coast of Lake Baikal]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018, no. 1, pp. 86–92.

14. Sokolov N. N. [et al.]. Poisk shtammov-produtsentov novykh endonukleaz restriksii [Search for producing strains of new restriction endonucleases]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 1988, vol. 65, no. 9, pp. 86–89.

15. Verkhozina E. V. [et al.]. Analiz mikrobial'nogo soobshchestva v litoral'noy zone yuzhnoy chasti ekosistemy ozera Baykal [Analysis of the microbial community in the littoral zone of the southern part of the Lake Baikal ecosystem]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2017, no. 3, pp. 99–113.

16. Rogov V. Yu. O napravleniyakh innovatsionnykh razrabotok po identifikatsii i krupnotonnazhnomu rozlivu prirodnoy baykal'skoy vody [About the directions of innovative developments on identification and large-capacity bottling of natural Baikal water]. *Vestnik IGTU*, 2013, no. 13, pp. 44–50.

17. Baburina O. N. [et al.]. Novye trendy mirovoy trgovli i ikh vliyanie na razvitie mezhdunarodnykh morskikh perevozok [New trends in the world trade and their

impact on the development of international maritime transport]. *Mezhdunarodnaya trgovlya i trgovaya politika*. 2022, vol. 8, no. 2(30), pp. 5–19.

18. Kompaniya "Baykalsi" v Pribaykal'e [Baikal Company in the Baikal region]. Available at: <https://baikalsea.com/news/BAIKALSEA-Company-i-FGBU-zapovednoe-pribaikal'e-ob'edinyaut-usiliya-po-sohraneniyu-baikala> (Accessed 12 September 2022).

19. Galaziy G. I. Da budet vechen na Zemle! [May he be eternal on Earth!]. *Vostochno-Sibirskaya pravda*. 1989, no. 196, 30 June.

Информация об авторах

Е. В. Верхозина – кандидат биологических наук

В. А. Верхозина – доктор технических наук, профессор

О. А. Белых – доктор биологических наук, доцент

Information about the authors

E. V. Verkhosina – PhD in Biology

V. A. Verkhosina – Doctor of Engineering, Professor

O. A. Belykh – Doctor of Biology, Associate Professor

Статья поступила в редакцию 13.10.2022; одобрена после рецензирования 02.11.2022; принята к публикации 03.11.2022.

The article was submitted 13.10.2022; approved after reviewing 02.11.2022; accepted for publication 03.11.2022.